راهکار نوین برای ارزیابی شرایط کارگاه‌های ساختمان‌های بلندمرتبه مشهد با رویکرد HSE (مطالعه موردی پروژه‌های ساخت‌وساز)*

پوریا ایلدرآبادی[۱] امیررضا مهردوست[۲] جواد علامتیان[۳]

چکیده *ارزیابی خطرهای وابسته به سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در پروژه‌های عمرانی با فرآیند HSEانجام می‌پذیرد. این یک شیوهٔ نظام‌مند است که هدف آن حفاظت از سرمایه، نیروی انسانی و محیط‌زیست در برابر خطرها و حوادث غیرقابل‌پیش‌بینی در پروژه‌های ساختمانی است. در این مقاله، اهداف مبحث HSE، در پروژه‌های ساختمانی شهر مشهد ارزیابی می‌شوند. برای انجام این کار، نخست عوامل به وجود آورندهٔ خطرهای سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در کارگاه‌های ساختمانی شناسایی می‌شوند. سپس، یک تابع عملکرد بر مبنای ریسک‌های سلامت، ایمنی و محیط‌زیست پیشنهاد می‌شود. وزن‌دهی عوامل شناسایی‌شده و ارزیابی عملکرد تابع پیشنهادی، به ترتیب با استفاده از ماتریس SWOT و شبیه سازی مونت‌کارلو انجام می‌گردد. برای انجام این کار، با تهیه و توزیع چک‌لیست‌های سلامت، ایمنی و محیط‌زیست بین کار شنا سان HSE، مدیران پروژه و سرپرستان کارگاه‌ها، نظرهای آنها دریافت می‌شود. در ادامه با به‌کارگیری روش ماتریس SWOTو شبیه‌سازی مونت‌کارلو، به ترتیب، وزن‌دهی عوامل شناسایی‌شده و ارزیابی عملکرد تابع پیشنهادی، انجام می‌پذیرد. نتیجهٔ چنین فرآیندی، طبقه‌بندی خطرهای سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در پروژه‌های ساختمانی مشهد، با استفاده از تابع پیشنهادی، است. بر این اساس، فرآیندهای وابسته به ایمنی جوشکاری و خطرهای ناشی از برنامه‌ریزی HSE، به‌ترتیب، بیشترین و کمترین خطر را در پروژه‌های ساختمانی مشهد ایجاد می‌کنند.*

واژه‌های کلیدی صنعت ساختمان، HSE، سلامت، ایمنی، محیط‌زیست، شبیه‌سازی، مونت‌کارلو، ماتریس SWOT.

A New Approach for Evaluation of Workshops of Tall Buildigns in Mashhad by HSE Approach (case study: construction projects)

P. Ildarabadi A. Mehrdoust J. Alamatian

Abstract *The HSE technique is used for evaluating the health, safety and enviromental risks. This is a systematic method which is utilized for protection of capital, manpower and environmental towards the risks of unpredictable events in construction projects. In this paper, HSE method is utilized for evaluating construction projects in Mashhad. For this purpose, health, safety and environmental risks are identified. Then a performance function is proposed based on assumed risks. Weight of identified factors and evaluation the efficiency of proposed function are performed by SWOT matrix and Monte Carlo simulaton technique, respectively. To do this, by prapering, distribution and purchasing health, safety and environment checklists between HSE experts, project managers and supervisors of workshops, their comments are recieved. By running SWOT matrix method and Monte Carlo simulation, health, safety and environmental risks of Mashhad construction projects are classified based on proposed function. Results show that the highest and the lowest risks in construction projects in Mashhad are caused by welding safety related processes and the risks of HSE planning, respectively.*

Key Word HSE, Construction project, SWOT method, Monte Carlo simulation technique.

* تاریخ دریافت مقاله ۹۸/۳/٤ و تاریخ پذیرش آن۹۹/٦/۱۲ می‌باشد.

(۱) دانشجوی دکتری مهندسی عمران- مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تفت.

(۲) کارشناس ارشد مهندسی عمران – مدیریت ساخت، موسسهٔ آموزش عالی خاوران.

(۳) نویسندهٔ مسئول، دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.

Email: alamatian@mshdiau.ac.ir

مقدّمه

پیشرفت فناوری و رشد صنعت ساخت‌وساز سبب استفاده از الگوها، ماشین‌آلات و ابزارهای نوین در پروژه‌های عمرانی شده است. هم‌زمان با ورود این روش‌ها و الگوهای نوین، احتمال بروز حوادث و خطاها در فرآیند ساخت افزایش می‌یابد [1]. در این راستا، توجّه به نیروی انسانی به‌عنوان اصلی‌ترین سرمایهٔ صنعت ساخت‌وساز از اهمّیت ویژه‌ای برخوردار است [2]. همچنین، توجّه به محیط‌زیست برای تحقق اهداف توسعهٔ پایدار، یکی از معیارهای رقابت‌پذیری این صنعت است [1-2]. بر این اساس، پرداختن به موضوع‌های ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست از اولویّت‌های صنعت ساخت‌وساز محسوب می‌شود [2]. بهره‌گیری از یک شیوهٔ جامع و نظام‌مند در این زمینه، بسیار راهگشا خواهد بود. سامانهٔ مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست و همان HSE (Health, Safety, Environment) پاسخی به این نیاز مهم است [2]. این سامانه را می‌توان مدیریت سلامت، ایمنی و بهداشت محیط کار دانست [2]. در این فرآیند، بهداشت و سلامتی با نماد H نشان داده می‌شود. موضوع بهداشت شامل بهداشت عمومی و فردی، بهداشت محیط و بهداشت حرفه‌ای است. بهداشت فردی، به سلامت مجموعهٔ افراد وابسته است [3]. بهداشت محیط نیز پیرامون پروژه را دربر می‌گیرد و بهداشت حرفه‌ای شامل تحلیل‌های شغلی است [3-2].

ایمنی با نشانه S مشخص می‌شود. هر پروژه در معرض خطرهایی قرار دارد که در صورت اهمّیّت ندادن به آنها احتمال ایجاد حوادث ناخوشایند افزایش می‌یابد. شاخص‌های ایمنی پروژه‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد [3-2]. دستهٔ اول ایمنی در عملیات است که حفاری، کار در ارتفاع، جوشکاری و برشکاری، ایمنی ماشین‌آلات و مانند این‌ها را شامل می‌شود. دستهٔ دوم به عامل‌های ایمنی در پروژه‌ها وابسته است که شامل ایمنی انبار، مدیریت حریق، محصورسازی، علائم هشداردهنده و مانند این موارد است. در دستهٔ سوم، ایمنی اشخاص در پروژه‌ها بررسی می‌گردد که مواردی مانند استفاده از تجهیزات حفاظت فردی را دربر می‌گیرد [3-2].

از سوی دیگر، نشانهٔ E برای محیط‌زیست استفاده می‌شود. شاخص‌های محیط‌زیست در پروژه‌های عمرانی شامل هوا، خاک و آب است که به نوع آلاینده منبع آن وابسته است [3-2]. انتشار مواد نفتی مانند نشت گازوئیل که برای سوخت ماشین‌آلات به کار می‌رود، نمونه‌ای از آلودگی خاک است. آلودگی هوا از طریق انتشار گازهای هیدروکربن نسوخته که از اگزوز ماشین‌آلات خارج می‌شود، ایجاد می‌شود و با تعمیر و نگهداری آنها کاهش می‌یابد [3-2].

باید دانست، برنامه‌ریزی و اجرای درست شاخص‌های سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در صنعت ساخت‌وساز سبب کاهش ریسک‌های سرمایه‌گذاری و نیروی انسانی پروژه‌ها می‌گردد [4]. برای دست‌یابی به این هدف، باید عامل‌هایی که در ارزیابی عملکرد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست اثرگذارند را بررسی کرد [4]. همهٔ شاخص‌هایی که در موضوع HSE استفاده می‌شوند، مانند ضریب‌های تکرار و شدّت آسیب‌های اتلاف وقت، میزان فوت‌ها، نرخ بیماری‌های شغلی و میزان انتشار آلاینده‌ها، از نوع شاخص‌های تابع یا پیامد هستند که به گذشته نظر دارند. به سخن دیگر، هیچ‌یک از این عامل‌ها تضمین نمی‌کنند نتایج به‌دست‌آمده بر اساس آنها در آینده نیز تداوم داشته باشند [4].

بنابراین، ضروری است شاخص‌هایی انتخاب شوند تا علاوه بر نشان دادن وضعیت پیشین، فعّالیّت‌های آیندهٔ را نیز دربر گیرند. ازآنجایی‌که هدف اساسی در چشم‌انداز HSE، کنترل و کاهش حوادث و خطرهای زیست‌محیطی است، باید شاخص‌هایی که نشان‌دهندهٔ این اقدامات (کنترل و کاهش) هستند، تعیین و رتبه‌بندی شوند [5].

مدیریت ریسک در سیستم مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست شامل تجزیه‌وتحلیل، ارزیابی و کنترل جنبه‌های زیست‌محیطی، خطرهای بالقوّه و عوامل زیان‌آور بهداشتی است [3]. روش‌های ارزیابی مبحث HSE در صنعت ساخت‌وساز رو به گسترش است، این روش‌ها معمولاً برای شناسایی، کنترل و کاهش پیامدهای خطرات به کار می‌رود [3]. اکثر روش‌های ارزیابی را می‌توان به دو دستهٔ کلّی تقسیم نمود، دستهٔ اوّل شامل مطالعهٔ موردی

شهری بر اساس شرایط موجود در کارگاه‌ها و دستهٔ دوم بر مبنای گزارش‌ها، نظرات و تجربیات اشخاص است. باوجوداین، آنچه در بیشتر این پژوهش‌ها مشترک است، انجام ارزیابی‌ها بر مبنای پرسشنامه (چک‌لیست) است [5-8].

در موضوع HSE، پژوهش‌هایی مدیریت ایمنی کارگاه را از روش‌های سلسه‌مراتبی فازی بررسی کرده‌اند و با استفاده از روش داده‌کاوی به تحلیل حوادث شغلی در صنعت ساختمان پرداخته‌اند [5]. همچنین، برای رتبه-بندی عوامل اصلی خطر سقوط در صنعت بلندمرتبه‌سازی، از تحلیل درخت خطا استفاده شده است [2]. ارزیابی ریسک ایمنی در پروژه‌های انبوه‌سازی ساختمان‌ها، با استفاده از روش فازی انجام پذیرفت. در این فرآیند، با انجام مصاحبه با کارشناس‌ها و طراحی پرسش‌نامه به بررسی شرایط ایمنی کارگاه‌ها پرداخته شده است [1]. همچنین، پژوهشی در زمینهٔ الگوی رتبه‌بندی HSE پیمانکاران پیش از قرارداد انجام پذیرفته است. این پژوهش با ارائهٔ روشی جدید، پیمان‌ها را به سه دستهٔ پیشرفته، متوسط و مقدّماتی تقسیم نموده است [6]. سپس، با تدوین پرسشنامهٔ HSE وضعیت پیمانکاران پیش از ورود به مناقصه مورد بررسی گرفته و با ارزیابی پرسشنامه و وزن‌دهی عوامل آن، پیمانکاران در گروه‌های مختلف قرار گرفته‌اند [6]. همچنین، مطالعه‌ای به مدل-سازی و ارزیابی عملکرد سیستم HSE پرداخته است. این مدل وضعیت عملکرد سامانه را در دو بخش نتایج و توانمندسازی مشخص می‌کند و این امکان را به سازمان‌ها می‌دهد تا با درک وضعیت موجود، شرایط رسیدن به وضعیت بهتر و بهبود مستمر آن برنامه‌ریزی گردد [8].

در این مقاله، نخست، عامل‌های پدیدآورندهٔ ریسک‌های سلامت، ایمنی و محیط‌زیست برای پروژه‌های ساختمانی شهر مشهد شناسایی می‌شوند. سپس، با تهیهٔ پرسشنامه و ارائهٔ آنها به کارشناسان، اهمّیّت هریک از این عوامل مشخص می‌گردد. در ادامه، یک تابع عملکرد بر مبنای ریسک‌های سلامت، ایمنی و محیط‌زیست پیشنهاد می‌شود. وزن‌دهی عوامل شناسایی‌شده و ارزیابی عملکرد تابع پیشنهادی، به ترتیب با استفاده از ماتریس SWOT و شبیه‌سازی مونت‌کارلو انجام می‌پذیرد. در پایان، با استفاده از تابع پیشنهادی، ریسک‌های سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در پروژه‌ها طبقه‌بندی می‌شوند.

شناسایی ریسک‌های سلامت، ایمنی و محیط‌زیست (HSE)

افزایش بهره‌وری و کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و حوادث در کارگاهی از هدف‌های صنعت ساخت‌وساز هستند. ازاین‌رو، سامانهٔ مدیریت HSE تلاش می‌کند ریسک‌های پروژه شناسایی گردند و همهٔ شرایط بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیست کنترل شوند تا خطرهایی که از جانب آن‌ها سلامتی افراد، ایمنی و محیط‌زیست را تهدید می‌کنند، کاهش یابند. برای دست‌یابی به این هدف، به‌کارگیری روش‌های شناسایی خطرها، تعیین و دسته‌بندی ریسک‌های موجود در محیط کار الزامی است. می‌توان با ارائهٔ چک‌لیست‌های پیشنهادی، شرایط کارگاه‌ها را ارزیابی کرد. ازاین‌رو، لازم است با توجّه به دانش، مهارت‌های علمی و تخصصی، فرهنگ محیط کارگاه و نیروی کار و تجربه عملی افراد کارشناس و مسئولین پروژه‌های عمرانی چک‌لیست‌ها تهیه و تدوین گردند [2,9,10].

چک‌لیست‌های راهنما، روش سودمندی برای حصول اطمینان از شناسایی و ارزیابی همهٔ خطرهای سلامت، ایمنی و محیط‌زیست می‌باشند. استفاده از این چک‌لیست‌ها نباید سبب محدود شدن دامنهٔ هرگونه بازنگری گردد [9]. چک‌لیست‌ها معمولاً از استانداردها و تجارب عملیاتی استخراج می‌شوند. درنتیجه، فعّالیّت‌ها بر حوزه‌هایی که در آنها پتانسیل اشتباه زیاد است و یا دارای سوابق نامناسب می‌باشند، متمرکز می‌شوند. چک‌لیست‌ها باید شامل نتایج بررسی حوادث یا رویدادها باشند و بسته به کاربرد مورد نظر، ممکن است کلّی (جنبه‌ها و پیامدهای زیست‌محیطی، کاهش منابع غیرقابل‌بازگشت سوخت فسیلی و یا آلودگی حرارتی و گرم شدن جهانی) و یا جزئی (اثراتی بر خاک، آب‌وهوا، تغییر در اکوسیستم منطقه) باشند [10,11].

فرآیند مدیریت و ارزیابی HSE شـامل، جمع‌آوری داده‌ها، شناسایی خطرات، ارزیابی، ارائهٔ اقدامات کنترلی و بازنگری اسـت. ازاین‌رو چک‌لیسـت‌های پیشـنهادی HSE باید همهٔ فرآیندهای طراحی، سـاخت، راه‌اندازی، بهره‌برداری و برچیدن کارگاه را شامل شود.

در این پژوهش، روش آماده‌سازی چک‌لیست‌ها با مصاحبه و نظرسنجی از اساتید HSE فنّی‌حرفه‌ای، اساتید دانشگاهی، کتاب‌ها و آیین‌نامه‌های موجود در صنعت ساختمان انجام می‌پذیرد. چک‌لیست‌های ارائه‌شده در این بخش با هدف شناسایی و ارزیابی کارگاه‌های ساختمانی تدوین شده‌اند. این چک‌لیست‌ها در هشت جدول کلّی شامل چک‌لیست برنامه‌ریزی بهداشت، ایمنی و محیط-زیست، ایمنی سازهٔ نگهبان، ایمنی کار هنگام جوشکاری، آتش‌نشانی، بهداشت کارگاه، ایمن‌سازی محیط کارگاه، ایمنی کار با جرثقیل و ایمنی برق کارگاه درج شده‌اند. در چک‌لیست‌های پیشنهادی سعی شده است، تقریباً همهٔ ابعاد مدیریت اجرای بهداشت حرفه‌ای، ایمنی و سلامت کارگران در نظر گرفته شود. در ادامه، این چک‌لیست‌ها برای ارزیابی کارگاه‌های ساختمانی استفاده می‌شوند. چک‌لیست‌ها توسط کارشناسان HSE و مهندسین شاغل در پروژه‌های عمرانی تکمیل می‌گردند.

در چک‌لیست‌های تهیه‌شده سعی شده است رخدادها و حوادث کارگاهی در نظر گرفته شوند. باید دانست، برای ارزیابی چک‌لیست‌های تدوین‌شده، عوامل تشکیل‌دهنده آنها با آمارهای شرکت‌های بیمه مقایسه شده‌اند تا حوادث پرتکرار کارگاهی در آنها وارد شده باشند.

به‌عنوان نمونه، برای ایمنی سـازهٔ نگهبان در پروژه‌های مورد بررسی، از پرسشنامه جدول (۱) استفاده شده است.

جدول (۱): چک‌لیست ایمنی سازهٔ نگهبان

	ردیف	عناوین سؤالات	بلی	خیر	امتیاز
ایمنی سازهٔ نگهبان	۱	آیا قبل از شروع خاک‌برداری محل عبور تأسیسات زیرزمینی مشخص شده است؟			
	۲	آیا اقدامات لازم جهت جلوگیری از خسارت و آسیب‌دیدگی به تأسیسات زیرزمینی انجام شده است؟ (هماهنگی با ارگان‌ها و سازمان‌های مرتبط)			
	۳	آیا اگر شواهدی از احتمال ریزش خاک، خرابی سیستم محافظ یا حوادثی از این قبیل دیده شد، کار تعطیل و کارگران از محل خطر دور می‌شوند؟			
	٤	آیا سیستم مناسب جهت محافظت از دیوارهای گود که محل کار کارگران بوده و احتمال ریزش وجود دارد تعبیه شده است؟			
	۵	آیا تجهیزات لازم برای مواقع اضطراری در محل‌هایی که استفاده از سیستم‌های زهکش و کنترل آب به‌طور مدام لازم است در نظر گرفته شده است؟			
	٦	آیا تجهیزات و مصالح مورد استفاده برای سیستم‌های محافظ سالم و بی‌عیب هستند؟			
	۷	آیا تدابیر لازم برای خاک‌های ریزشی در نظر گرفته شده است؟			
	۸	چنانچه ساختمان مجاور به ساختمان موجود تکیه داده است سازهٔ نگهبان مناسب در نظر گرفته شده است؟			
	۹	آیا از محل پروژه بازدید شده و معارضین محل بازدید شده است؟			
	۱۰	آیا نقشهٔ سازهٔ نگهبان برای کلیهٔ ابعاد موجود است؟			

داده های آماری مورد نیاز برای ارز یابی شـــرایط کارگاه‌ها با توزیع چک‌لیست‌ها بین کارشناسان سلامت، ایمنی و محیط‌زیســـت، مدیران پروژه و ســـرپرســـتان کارگاه‌های ساختمانی، به دست می‌آید.

مدل پیشنهادی

این پژوهش به برر سی کارگاه‌های ساختمانی بلندمرتبه در صنعت ساخت‌و ساز می‌پردازد. برای تحلیل شرایط کارگاه های ســـاختمانی از دیدگاه HSE، فعّالیّت های کلیدی و تأثیرگذار بر وضعیت آنها شنا سایی می شوند. این فعّالیّت‌ها دارای عدم قطعیت می‌با شند و بر ریسک کارگاه ساختمانی اثر دارند. باید دانست، فرآیند شناسایی و تجزیه فعّالیّت‌ها تو سط کار شنا سان و مراجع موجود در زمینهٔ HSE انجام شده است. در این راستا، یک تابع نوین برای ارزیابی شرایط کارگاه‌های ساختمانی پیشنهاد می‌شود:

$$SF=h\times H+s\times S+ss\times SS+f\times F+p\times P+e\times E+w\times W+c\times C \quad (1)$$

در رابطهٔ (۱)، عامل های H، S، SS، F، P، E، W و C به ترتیب، بهداشـــت، ایمنی محیط کارگاه، ســـازهٔ نگهبان، آتش‌نشـــانی، برنامه‌ریزی HSE، ایمنی برق، جو شکاری و جرثقیل می‌با شند. همچنین، کمیّت‌های h، s، ss، f، p، e، w و c به‌ترتیب وزن های عا مل های بهداشت، ایمنی محیط کارگاه، سازهٔ نگهبان، آتش‌نشانی، برنامه‌ریزی HSE، ایمنی برق، جوشـــکاری و جرثقیل را در تابع پیشـــنهادی برای عامل ایمنی (SF) مشـــخص می‌کنند. باید دانســـت، این ضـــرایب وزنی برای افزایش دقّت نتایج تابع پیشـــنهادی در نظر گرفته شـــده اســـت. ضـــریب‌های وزنی کمک می‌کنند تا میزان اثرگذاری و اهمّیّت پارامترها در شـــرایط کارگاه به‌درســـتی منظور شـــوند. این ضـــرایب وزنی به‌صـــورت درصـــدی ارائه می‌شـــوند و بر اســـاس نظرات کارشـــناســـان و مســـئولین HSE کارگاه‌های ســـاختمانی محاســـبه می‌شـــوند. لازم به تو ضیح ا ست که ضریب‌های پیش‌بینی شده، در بهترین حالت برابر یک می‌باشند. این حالت هنگامی رخ می‌دهد که نکات ایمنی مطابق اســـتانداردهای موجود برای همهٔ عوامل شنا سایی شده در کارگاه‌های ساختمانی رعایت شوند. در غیر این صورت، با توجّه به اهمّیّت داده شده به عوامل شـــناســـایی‌شـــده در کارگاه ســـاختمانی، فرآیند امتیازدهی توسط کارشناسان انجام می‌پذیرد.

از سوی دیگر، عامل‌های به کار رفته در این تابع، شامل هشت فعّالیّت کلّی می‌باشند. این عوامل به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که عناصر سه‌گانهٔ مبحث HSE را شامل می‌شوند. همچنین، هریک از این فعّالیّت‌ها به اجزای تشکیل‌دهندهٔ آنها گسسته شده‌اند. این کار با تهیهٔ تعدادی پرسشنامه و درج اجزای هر فعّالیّت در آنها انجام می‌پذیرد.

شایان توجّه است، هنگام پیشنهاد هر مدل، سه ویژگی نوع عامل‌ها، وزن هر یک و چگونگی اثر آنها در کمیّت پاسخ (خطی یا غیرخطی) لحاظ می‌شود. برای ارزیابی خطرهای رایج کارگاهی چنین روشی به کار می‌رود. شناسایی و پیشنهاد نوع عامل‌های اثرگذار در خطرهای کارگاهی با بررسی مراجع و نظر متخصصان انجام می‌پذیرد. در اینجا، دو هدف رتبه‌بندی عامل‌ها در بروز خطرهای کارگاهی و تحلیل حساسیت خطر نسبت به هریک از آنها در نظر گرفته می‌شود. برای دستیابی به این دو هدف، لازم است اثر هر عامل در تعریف مدل یکسان در نظر گرفته شود. درنتیجه، از الگوی خطی برای نوشتن مدل استفاده شد. با انجام رتبه‌بندی، وزن هر عامل مشخص می‌شود. همچنین، می‌توان تحلیل حساسیت را بر روی عامل‌های مختلف انجام داد. باید دانست پس از رتبه‌بندی و تحلیل حساسیت، می‌توان پژوهش پیش‌رو را با درنظرگرفتن توابع غیرخطی (چندجمله‌ای درجه بالا) گسترش داد.

شایان یادآوری است، در این پژوهش از روش عددی ماتریس SWOT برای ارزیابی و امتیازدهی فعّالیّت‌ها استفاده می‌شود. روش SWOT یکی از توانمندترین شیوه‌های امتیازدهی و وزن‌دهی است. باید دانست

در این روش، با افزودن هر عامل وزن آن در تابع پیشنهادی لحاظ می‌گردد. از سوی دیگر، وزن هر عامل بر پایهٔ داده‌های چک‌لیست به دست می‌آید. درنهایت، امتیاز هر چک‌لیست با توجّه به نظر کارشناسان حساب می‌شود. همچنین، از روش SWOT برای تحلیل حساسیت استفاده می‌گردد. برای انجام این کار، با تغییر هر عامل، نتایج با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

باید افزود، روش‌هایی مانند فازی، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی و شیوه‌های مشابه، برای ارزیابی خطر و تحلیل حساسیت وجود دارند. باوجوداین، الگوریتم روش ماتریس SWOT نسبت به دیگر فرآیندها ساده‌تر است. با وجود سادگی، دقّت روش SWOT در تحلیل حساسیت مناسب است.

بر این اساس، تابع پیشنهادی بر مبنای امتیازدهی ماتریس SWOT مدل شده است. چنانچه، حاصل‌ضرب عدد اختصاص‌یافته به ضریب‌های وزنی عامل‌ها (حرف-های کوچک در رابطهٔ ۱)، در مقدار عددی به‌دست‌آمده از فرآیند ماتریس SWOT برای هر عامل (حرف‌های بزرگ در رابطهٔ ۱)، از عدد ۲/۵ بیشتر شود، بر اساس رتبه‌بندی ماتریس SWOT آن کمیّت در وضعیت مطلوبی قرار دارد. درنتیجه، هرگاه همهٔ عامل‌های شناسایی‌شده، کمترین امتیاز مطلوب را کسب نمایند، مقدار عددی تابع پیشنهادی عدد ۲۰ خواهد شد.

$$SFall=h\times H+s\times S+ss\times SS+f\times F+p\times P+e\times E+w\times W+c\times C=20 \quad (۲)$$

درنتیجه، با مقایسهٔ عدد عامل ایمنی هر کارگاه (SF) با کمترین مقدار قابل پذیرش عامل ایمنی (SF_{all})، می‌توان وضعیت کارگاه ساختمانی را از دیدگاه HSE بررسی کرد. برای افزایش داده‌های آماری و به دست آوردن تخمین ریسک موضوع HSE در کارگاه‌های ساختمانی، از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده می‌شود. دلیل استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو، کمبود و یا فقدان داده‌های آماری واقعی است. همچنین، در صورت وجود داده‌های آماری محدود، آنها دربرگیرندهٔ همهٔ حالت‌های رخدادها در کارگاه‌ها نیستند؛ بنابراین، برای انجام ارزیابی جامع از شرایط کارگاهی و درنظرگرفتن همهٔ جوانب، لازم است داده‌های آماری مورد نیاز تولید شوند. این کار، با استفاده از شبیه‌سازی مونت‌کارلو انجام می‌پذیرد. باید دانست، با افزایش تعداد نمونه‌های تولیدشده می‌توان خطای شبیه‌سازی را کاهش داد و حالت‌های ممکن را در نظر گرفت. این شیوه کمک می‌کند تا شرایط مختلف کارگاه‌های ساختمانی بررسی گردند و دقّت پاسخ تابع پیشنهادی بیشتر شود.

روش‌های تحلیل و ارزیابی

در این پژوهش برای ارزیابی و شـبیه پرسـش‌نامه‌ها از روش تحلیل ماتریس SWOT و برای ارزیابی مدل پیشنهادی از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده شده است.

تحلیل ماتریس SWOT

در این روش عوامل خارجی و داخلی اثرگذار بر یک سازمان و یا یک فرآیند بررسی می‌شوند. این روش به رتبه‌بندی عوامل اثرگذار بر روی فرصت‌ها، تهدیدها، نقاط قوّت و نقاط ضعف یک سازمان می‌پردازد. روش ماتریس SWOT یکی از ابزارهای مهمی است که مدیران به‌وسیلهٔ آن می‌توانند اطّلاعات مربوط به عوامل داخل و خارج سازمان را مقایسه کنند [10]. اصول ایجاد این ماتریس تکیه بر مشاهدات و بررسی‌های میدانی پژوهشگر است و برای تکمیل آن نیاز به انجام گام‌های زیر است:

گام اول: شـناسـایی عامل‌های اثرگذار بر مبحث HSE؛

گام دوم: تهیهٔ چک‌لیست کمیّت‌های تشکیل‌دهندهٔ هر عامل؛

گام سـوم: توزیع چک‌لیسـت‌های تدوین‌شـده بین

کارگاه‌های ساختمانی؛

گام چهارم: وزن دهی به هر کمیّت با اعداد بین صفر تا یک (عدد صفر برای کمیّت‌های بی‌اهمّیّت و عدد یک برای کمیّت‌های بسیار مهم). باید دانست، بر اساس ماتریس SWOT، جمع ضریب‌های اختصاص داده شده به کمیّت‌های تشکیل‌دهندهٔ هر عامل باید مساوی با یک باشد. برای انجام این کار، در این پژوهش به هر کمیّت عددی بین صفر تا صد اختصاص داده می‌شود. سپس، با نرمالیزه کردن آنها، وزن‌هایی بین صفر تا یک برای هر کمیّت به دست می‌آید. مجموع وزن‌ها نیز برابر با یک ا ست (این فرآیند در ق سمت محا سبات تشریح می‌شود)؛

گام پنجم: برای هر عامل یک امتیاز بین یک تا چهار بر حسب میزان تأثیر بر اهداف HSE داده می‌شود. این امتیاز بیانگر میزان اثربخشی عامل بر واکنش مبحث مورد بررسی است. عدد چهار به این معنی است که واکنش عالی است (بسیار مهم). اگر واکنش بسیار ضعیف باشد، عدد یک به آن اختصاص می‌یابد (بی‌اهمّیّت)؛

گام ششم: محاسبهٔ امتیازهای وزن‌دار هر عامل. برای دست‌یابی به این هدف، ضریب اهمّیّت هر عامل را در امتیاز اختصاص یافته شده توسط خبرگان و کارشناسان ضرب می‌گردد این فرآیند برای هر یک از عوامل چک‌لیست تدوین‌شده انجام می‌پذیرد؛

گام هفتم: محاسبهٔ جمع امتیازهای وزن‌دار برای هر جدول (چک‌لیست). باید دانست، مجموع امتیاز به‌دست‌آمده بین ۱ و ٤ خواهد بود. بر اساس استاندارد SWOT امتیاز متوسط و قابل قبول برای هر چک‌لیست در روش SWOT برابر ۲/۵ است.

در اینجا برای روشن شدن گام‌های بیان‌شده، فرآیند وزن‌دهی و امتیازدهی برای چک‌لیست ایمنی سازهٔ نگهبان، در جدول (۲) بیان شده است.

بر اساس داده‌های جدول (۲)، برای نرمالیزه کردن، مجموع امتیازهای اختصاص‌یافته توسط کارشناسان محاسبه می‌گردد (در اینجا امتیاز ۹۳۰ است). سپس، امتیاز هر عامل بر این عدد تقسیم می‌شود. با انجام این فرآیند، وزن هر عامل به دست می‌آید (ستون وزن در جدول ۳). اکنون، جمع وزن‌های چک‌لیست برابر یک می‌گردد که با روش ماتریس SWOT سازگار است. در حقیقت، با نرمالیزه کردن امتیازهای کارشناسان، وزن عامل‌های جدول به دست می‌آید. برای محاسبه امتیاز وزن‌دار هر کمیّت، کافی است امتیاز وضع موجود آن کمیّت در وزن آن ضرب گردد. در پایان، امتیاز کسب‌شده برای چک‌لیست ایمنی سازهٔ نگهبان، بر اساس روش SWOT، ۳/۸۲۷۹ است. این عدد از مجموع امتیازهای وزن‌دار کمیّت‌های موجود در چک‌لیست به دست می‌آید. با توجّه به دسته‌بندی امتیازها در روش ماتریس SWOT، به مبحث سازهٔ نگهبان در کارگاه مورد بررسی اهمّیّت جدی و ویژه‌ای داده می‌شود. همچنین، با توجّه به امتیاز به‌دست‌آمده برای این چک‌لیست (جدول ۲)، این عامل به‌عنوان یک فرصت در جهت کاهش خطرهای احتمالی منظور می‌گردد.

این فرآیند برای همهٔ عامل‌های شناسایی‌شده در تابع پیشنهادی تکرار می‌شود. با این روش، کارگاه‌های ساختمانی شهر مشهد از دیدگاه موضوع HSE بررسی می‌گردند. همچنین، هشت عامل شناسایی‌شده رتبه‌بندی می‌شوند. با این کار، می‌توان این عامل‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود و میزان اثرگذاری هر یک از آنها را در کارگاه ساختمانی تعیین کرد.

جدول (۲): امتیازدهی چک‌لیست ایمنی سازهٔ نگهبان بر اساس SWOT

	ردیف	عناوین سؤالات	امتیاز کارشناس	امتیاز وضع موجود	وزن	امتیاز وزن‌دار
ایمنی سازهٔ نگهبان	۱	آیا قبل از شروع خاک‌برداری محل عبور تأسیسات زیرزمینی مشخص شده است؟	۱۰۰	٤	۰,۱۰۷	۰,٤۳۰
	۲	آیا اقدامات لازم جهت جلوگیری از خسارت و آسیب‌دیدگی به تأسیسات زیرزمینی انجام شده است؟ (هماهنگی با ارگان‌ها و سازمان‌های مرتبط)	۸۰	۳	۰,۰۸٦	۰,۲۵۸
	۳	آیا اگر شواهدی از احتمال ریزش خاک، خرابی سیستم محافظ یا حوادثی از این قبیل دیده شد، کار تعطیل و کارگران از محل خطر دور می‌شوند؟	۱۰۰	٤	۰,۱۰۷	۰,٤۳۰
	٤	آیا سیستم مناسب جهت محافظت از دیوارهای گود که محل کار کارگران بوده و احتمال ریزش وجود دارد تعبیه شده است؟	۹۰	٤	۰,۰۹٦	۰,۳۸۰
	۵	آیا تجهیزات لازم برای مواقع اضطراری در محل‌هایی که استفاده از سیستم‌های زهکش و کنترل آب به‌طور مدام لازم است، در نظر گرفته شده است؟	۹۰	٤	۰,۰۹٦	۰,۳۸۷
	٦	آیا تجهیزات و مصالح مورد استفاده برای سیستم‌های محافظ، سالم و بی‌عیب هستند؟	۸۰	۳	۰,۰۸٦	۰,۲۵۸
	۷	آیا تدابیر لازم برای خاک‌های ریزشی در نظر گرفته شده است؟	۹۰	٤	۰,۰۹٦	۰,۳۸۷
	۸	چنانچه ساختمان مجاور به ساختمان موجود تکیه داده است سازهٔ نگهبان مناسب در نظر گرفته شده است؟	۱۰۰	٤	۰,۱۰۷	۰,٤۳۰
	۹	آیا از محل پروژه بازدید شده و معارضین محل بازدید شده است؟	۱۰۰	٤	۰,۱۰۷	۰,٤۳۰
	۱۰	آیا نقشهٔ سازهٔ نگهبان برای کلیه ابعاد موجود است؟	۱۰۰	٤	۰,۱۰۷	۰,٤۳۰
جمع			۹۳۰		۱	۳,۸۲۷

شبیه‌سازی مونت‌کارلو

شبیه‌سازی مونت‌کارلو از جمله روش‌های پیش‌بینی شرایط است. این روش می‌تواند عوامل اثرگذار در خروجی مدل پیشنهادی را با استفاده از تولید نمونه‌های تصادفی شبیه‌سازی کند و پیامدهای احتمالی را در محدودهٔ مورد انتظار پیش‌بینی کند. درواقع شبیه‌سازی مونت‌کارلو با مدل‌سازی وقایعی که احتمال رخداد آن‌ها وجود دارد، رفتار مدل پیشنهادی را ارزیابی می‌کند [12,13].

در روش مونت‌کارلو، نخست باید عامل‌های اثرگذار بر مدل شناسایی شوند. سپس، برای هر عامل توزیع مناسب انتخاب گردد. این کار با توجّه به شناخت تحلیلگر از سامانه انجام می‌پذیرد. در ادامه، با توجّه به نوع توزیع متغیرها، رفتار سامانه شبیه‌سازی می‌گردد [12,13].

داده‌های پژوهش

در این پژوهش، برای ارزیابی شرایط موضوع HSE در کارگاه‌های ساختمانی، پروژه‌های بلندمرتبه شهر مشهد بررسی می‌شوند. برای انجام این فرآیند، چک‌لیست‌های تدوین‌شده، در کارگاه‌های بلندمرتبهٔ شهر مشهد توزیع شدند. پروژه‌های بررسی‌شده شامل کارگاه‌های ساختمانی؛ پروژهٔ گروه المان واقع در بلوار هاشمیه، یاس (مسکونی) در بلوار ارشاد، آرمیتاژ گلشن و یاس (تجاری – اداری) در میدان جانباز می‌باشند. این چک‌لیست‌ها توسط مدیران پروژه، افسرهای HSE، مهندس‌های بهداشت حرفه‌ای، ناظران عالی معماری، مسئول‌های اجرایی کارگاه، سرپرستان کارگاه، مسئول‌های HSE، و کارشناسان HSE تکمیل شدند. باید افزود، سابقهٔ کار اجرایی همهٔ این افراد بالای ۱۰ سال است. نحوهٔ امتیازدهی کارشناسان به چک‌لیست‌ها از صفر (۰) تا صد (۱۰۰) است. در اینجا، عدد (۰) بیانگر بدبینانه‌ترین حالت است (عامل مورد نظر در کارگاه اجرا نمی‌گردد و یا به آن بی‌توجّهی می‌شود). امتیاز (۱۰۰) نشانگر بهترین حالت است به‌گونه‌ای که آن عامل در کارگاه ساختمانی با الگوی صحیح اجرا می‌گردد.

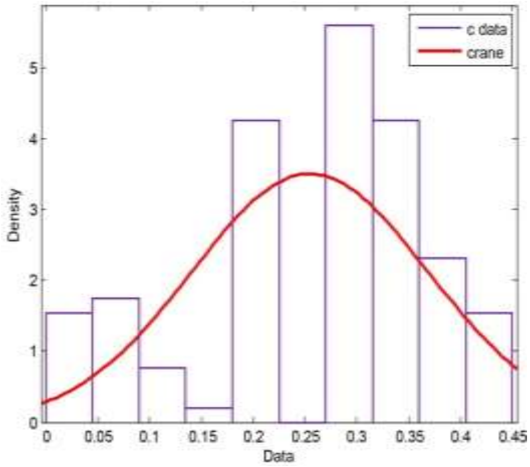
باید افزود، فقدان پروژه‌های ساختمانی بلندمرتبه که در آنها ضوابط و اصول مدیریت پروژه لحاظ شده‌اند، سبب گردید داده‌های پژوهش تنها از این چهار پروژه به دست آیند. برای برطرف کردن مشکل کمبود داده‌های ورودی و نیز درنظرگرفتن همهٔ حالت‌های ممکن، از شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای تولید داده‌های مناسب استفاده شد. با استفاده از شبیه‌سازی، می‌توان مدل پیشنهادی را به‌صورت جامع و کامل بررسی کرد؛ زیرا داده‌های در دسترس (گردآوری‌شده از چک‌لیست‌ها)، برای پروژه‌های واقعی محدود می‌باشند و همهٔ حالت‌های ممکن را نیز دربرنمی‌گیرند. شبیه‌سازی مونت‌کارلو این کاستی‌ها را برطرف می‌کند. در جدول (۳)، نام پروژه‌ها به همراه ویژگی‌های کارشناسان تکمیل‌کننده پرسشنامه‌ها درج شده‌اند.

باید دانست، با توجّه به تعداد محدود چک‌لیست‌ها، نمی‌توان همهٔ رخدادهای ممکن در پروژه‌ها را بررسی کرد. ازاین‌رو، برای افزایش جامعهٔ آماری در محدودهٔ تغییرات پروژه‌ها، روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو به کار گرفته می‌شود.

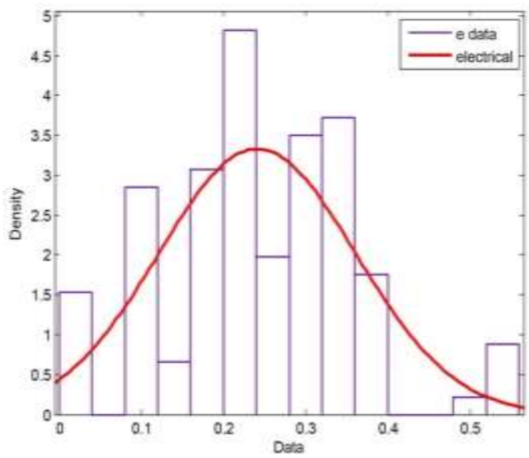
جدول (۳): پروژه‌های بررسی‌شده و کارشناسان

نام پروژه	سمت / سابقه کارشناس (سال)
المان (هاشمیه)	مدیر پروژه / ۱۷
یاس مسکونی (ارشاد)	کارشناس HSE / ۱۰ کارشناس بهداشت حرفه‌ای / ۱۲
آرمیتاژ (گلشن)	ناظر عالی معماری / ۱۲ مسئول HSE / ۱۰
یاس تجاری-اداری (جانباز)	مسئول اجرایی کارگاه / ۱۵ سرپرست کارگاه / ۱۲ افسر HSE / ۱۰ افسر HSE / ۱۰

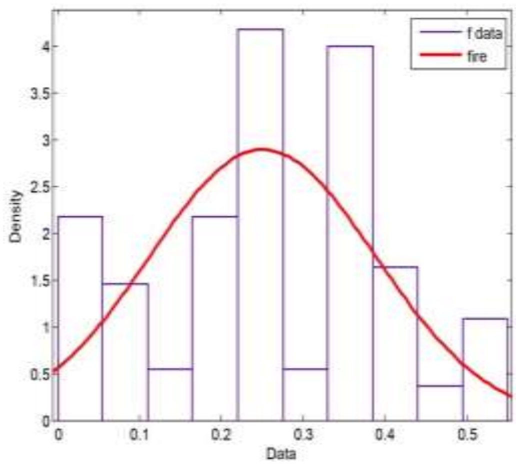
شبیه‌سازی تابع پیشنهادی بر مبنای جامعهٔ آماری و داده‌های واقعی انجام می‌پذیرد. همچنین، در این پژوهش با توجّه به محدود بودن تعداد پروژه‌های بررسی‌شده (تعداد محدود پروژه‌های بلندمرتبه)، برای افزایش جامعهٔ آماری از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده می‌شود. فرآیند کار در شبیه‌سازی مونت‌کارلو بر مبنای آگاهی داشتن از توابع توزیع احتمال است. سپس، با تولید اعداد تصادفی، رخدادهایی که احتمال وقوع آن‌ها وجود دارد، بررسی می‌شوند. به سخن دیگر، شبیه‌سازی مونت‌کارلو با توجّه به توابع توزیع احتمال متغیرهای ورودی (جامعهٔ آماری به‌دست‌آمده از چک‌لیست‌ها)، رخدادهای تصادفی تولید می‌کند و پیش‌بینی آینده را میسر می‌سازد. در این راستا، برای تولید داده‌های تصادفی و افزایش جامعهٔ آماری در محدودهٔ مورد انتظار، شناخت رفتار پارامترها ضروری است. بر این اساس، تعیین توابع توزیع احتمال عامل‌ها با استفاده از دادهای آماری جمع‌آوری‌شده (نظرهای کارشناسان) مشخص شده‌اند و در شکل‌های (۱) تا (۷) نمایش داده شده‌اند.



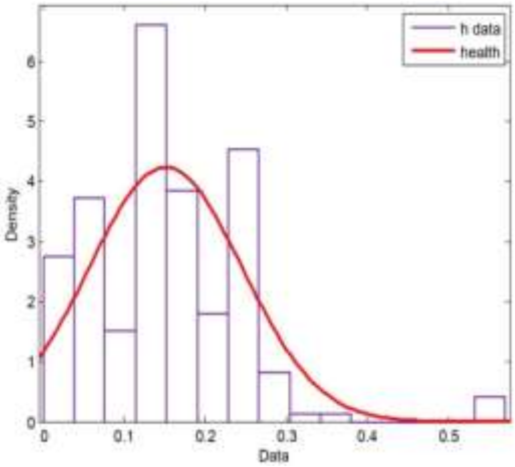
شکل (۱): هیستوگرام جرثقیل



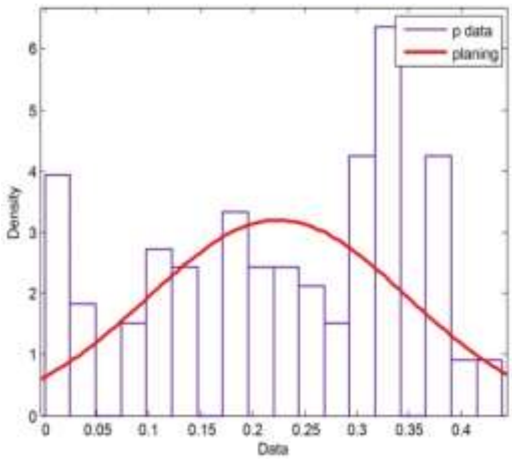
شکل (۲): هیستوگرام ایمنی برق



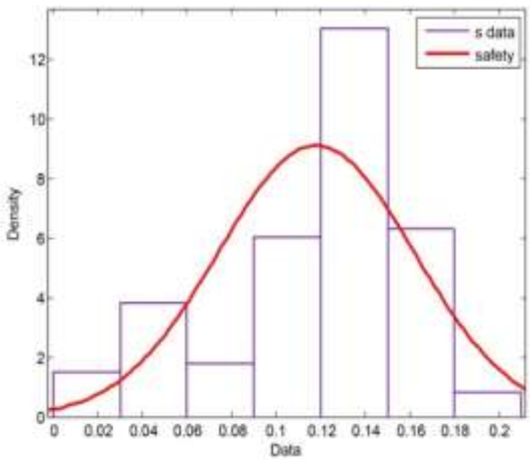
شکل (۳): هیستوگرام ایمنی آتش‌نشانی



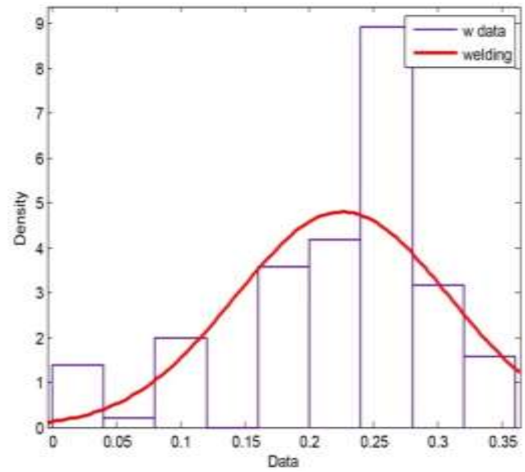
شکل (٤): هیستوگرام بهداشت کارگاه



شکل (٥): هیستوگرام برنامه‌ریزی HSE



شکل (٦): هیستوگرام ایمنی محیط



شکل (۷): هیستوگرام ایمنی جوشکاری

هیستوگرام‌های رسم شده در شکل‌های (۱) تا (۷) وجود اختلاف معنی‌دار بین توابع توزیع و داده‌های واقعی را نشان می‌دهد. علّت اصلی این اختلاف، کم بودن تعداد پرسشنامه‌های تکمیل‌شده (داده‌های استخراج‌شده از پروژه‌های واقعی) است. دو دلیل را می‌توان برای این موضوع برشمرد. نخست آنکه برخی از آیتم‌های موجود در چک‌لیست‌ها به دلیل پایان یافتن آن قسمت از پروژه، در دسترس نبودند و نتیجه‌گیری بر پایه داده‌های ثبت‌شده در بایگانی انجام شد. دوم اینکه کارشناسان در زمینه‌هایی تخصصی، چک‌لیست‌های مربوط را تکمیل کردند که این موضوع سبب کاهش تعداد داده‌های واقعی گردید. به این دلیل‌ها، تعداد داده‌های مورد اطمینان کم است و این نکته سبب افزایش خطا در تابع‌های توزیع احتمال گردید. برای برطرف کردن این کاستی و افزایش تعداد داده‌ها، از شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای تولید داده‌های تصادفی استفاده شد.

با توجّه به هیستوگرام‌های شکل‌های (۱) تا (۷)، می‌توان دریافت همهٔ چک‌لیست‌ها از الگوی تابع توزیع نرمال پیروی می‌کنند. از سوی دیگر، با توجّه به اینکه شرایط اجرای مبحث HSE در کارگاه‌های بررسی‌شده یکسان نیستند و نیز تغییرات آنها یکنواخت نمی‌باشند، نمی‌توان از توزیع یکنواخت برای شبیه‌سازی مدل پیشنهادی استفاده کرد. ازاین‌رو، شبیه‌سازی عامل‌ها برای افزایش جامعهٔ آماری بر مبنای تابع توزیع احتمال نرمال انجام می‌پذیرد. به سخن دیگر، تولید داده در روش مونت‌کارلو، با استفاده از میانگین و انحراف معیار داده-های واقعی و فرض تابع توزیع انجام می‌پذیرد. در اینجا، مهم‌ترین عامل، نوع تابع توزیع احتمال است. برای انجام این کار، نمودارهای تابع چگالی احتمال (PDF)، با توجّه به تعریف آماری آن در شکل‌های (۱) تا (۷) رسم شده‌اند. بر این اساس، برای تولید داده‌ها در شبیه‌سازی مونت‌کارلو از توزیع نرمال استفاده شد (توابع لگ نرمال و یکنواخت مناسب نیستند). روشن است، هرچه تعداد داده‌های واقعی بیشتر باشند، دقّت این تابع‌های توزیع هم بیشتر می‌گردد. باید دانست، تابع توزیع رسم شده برای داده‌ها، مطابق روش‌های ریاضی و آماری استاندارد است که بهترین تابع توزیع منطبق بر داده‌ها را مشخص می-کنند.

همچنین، در بیشتر کارگاه‌های بررسی‌شده سازهٔ نگهبان اجرا نشده بود. درنتیجه، داده‌های آماری کافی برای تعیین توزیع توابع احتمال در دسترس نیست. ازاین‌رو، رفتار عامل سازهٔ نگهبان نیز مشابه دیگر عوامل نرمال فرض می‌گردد و شبیه‌سازی آن با استفاده از تابع توزیع احتمال نرمال انجام می‌پذیرد. ویژگی‌های آماری عامل‌ها برای انجام شبیه‌سازی در جدول (٤) درج شده‌اند.

مقدارهای درج شده در جدول (٤) حا صل از وزن دهی عامل‌های شناسایی‌شده بر اساس ماتریس SWOT است. شایان توجّه است که همهٔ این مقدارها بر اساس نظرهای کارشناسان صنعت بلندمرتبه‌سازی به‌دست‌آمده‌اند. در این راستا، فرآیند شبیه‌سازی بر مبنای جامعهٔ آماری واقعی انجام می‌پذیرد تا شرایط کارگاه‌های بلندمرتبه شهر مشهد از دیدگاه مبحث HSE به‌درستی ارزیابی شود.

جدول (٤): ویژگی‌های عامل‌های شبیه‌سازی‌شده (شرایط واقعی)

آتش‌نشانی	بهداشت کارگاه	کار با جرثقیل	ایمنی برق	سازهٔ نگهبان	جوشکاری	ایمنی محیط	برنامه‌ریزی HSE	SWOT (حروف بزرگ در مدل پیشنهادی)
۳/۲۲	۳/۲	۳/٦۵	۳/۳۳	۳/۲۷	۳/۵٤	۳/۵۷	۳/۳٦	میانگین
۰/۵۹۷	۰/٤۱۷	۰/۳٤۵	۰/۲۹٦	۰/٤۰۲	۰/٤۳۵	۰/۳٦۱	۰/٤۳٤	انحراف معیار
نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نرمال	نوع تابع توزیع
آتش‌نشانی	بهداشت کارگاه	کار با جرثقیل	ایمنی برق	سازهٔ نگهبان	جوشکاری	ایمنی محیط	برنامه‌ریزی HSE	ضریب تأثیر (حروف کوچک در
۰/٦٤۵	۰/٦۰۸	۰/۷۸۰	۰/۷۷۹	۰/۷٦۳	۰/۸۵۷	۰/۸۱۵	۰/۷۲٤	میانگین
۰/۲۳۱	۰/۱٤۰	۰/۲٦۸	۰/۲۷۳	۰/٤۰۸	۰/۳۰۵	۰/۱۲٦	۰/۱۰۲	انحراف معیار

همچنین، برای ارزیابی شرایط واقعی کارگاه‌های بلندمرتبه شهر مشهد و مقایسهٔ موردی عامل‌ها (چک‌لیست‌ها)، فرآیند شبیه‌سازی مدل پیشنهادی در دو حالت متفاوت انجام می‌پذیرد.

در حالت اوّل، فرآیند شبیه‌سازی مدل پیشنهادی به تعداد عامل‌های معرفی‌شده انجام می‌شود. در هر دور از این فرآیند، یک عامل به‌عنوان متغیر در نظر گرفته می‌شود و عامل‌های دیگر ثابت فرض می‌گردند. با این کار، اثر و عملکرد هر عامل از مبحث HSE در کارگاه ساختمانی جداگانه بررسی و مشخص می‌شود. در حالت دوم، شبیه‌سازی همهٔ عامل‌ها هم‌زمان انجام می‌پذیرد و اثر آنها در موضوع HSE کارگاه‌های ساختمانی ارزیابی می‌شوند. این حالت نشانگر این موضوع است که شرایط واقعی کارگاه‌های بلندمرتبه ساختمانی چگونه است و احتمال شکست مبحث HSE با استفاده از مدل پیشنهادی ارزیابی می‌شود.

فرآیند شبیه‌سازی

در این بخش با توجّه اطّلاعات گردآوری‌شده برای ساختمان‌های بلندمرتبه شهر مشهد، فرآیند شبیه‌سازی و ارزیابی تابع عملکرد پیشنهادی انجام می‌پذیرد. همچنین، جامعهٔ آماری با روش شبیه سازی مونت‌کارلو گسترش می‌یابد. فرآیند شبیه‌سازی مدل پیشنهادی در این پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر شرح داد:

۱. تعیین متغیرهای تابع پیشنهادی به‌عنوان عامل‌های ورودی؛
۲. محاسبهٔ مقدارهای میانگین و انحراف معیار عامل‌ها (جدول ٤)؛
۳. تعیین نوع توابع توزیع احتمال عامل‌ها (جدول ٤)؛
٤. تولید اعداد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازهٔ بین ۰ و ۱؛
۵. استفاده از رابطه‌های آماری برای انتقال نمونه‌های شبیه‌سازی‌شده از توزیع یکنواخت به توزیع نرمال؛
٦. مقداردهی به تابع عملکرد پیشنهادی با استفاده از نمونه‌های تولیدشده و ذخیره نتایج؛
۷. ارزیابی و تحلیل نتایج.

برای مقایسه و رتبه‌بندی عامل‌ها و ارزیابی کارگاه‌های بررسی شده، احتمال شکست، P_f، از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود [13].

$$P_f = \frac{n}{N} \quad (۳)$$

در اینجا، N تعداد کل شبیه‌سازی‌ها است. همچنین، n تعداد شبیه‌سازی‌هایی است که مقدار آنها در تابع پیشنهادی کمتر از ۲۰ گردد. فرآیند شبیه‌سازی تابع پیشنهادی با تولید ۱۰۰۰۰۰ نمونه و مقداردهی به تابع عملکرد پیشنهادی انجام می‌پذیرد. در ادامه، نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای دو حالت ارائه می‌گردد.

حالت اوّل: بررسی عملکرد تابع پیشنهادی با شبیه‌سازی یک عامل در هر مرحله

برای شبیه‌سازی در این حالت، امتیازهای وزن‌دار برای هر چک‌لیست که عددی بین ۱ تا ٤ می‌باشند و بر اساس

ماتریس SWOT محاسبه شده‌اند، در ضرایب تأثیر آن‌ها که بر مبنای امتیازهای کارشناسان به‌دست‌آمده‌اند ضرب می‌شوند (اعداد محاسبه‌شده در جدول ٤). این فرآیند در جدول (٥) ثبت شده است. در هر بار شبیه‌سازی این حالت، تنها یک عامل متغیر در نظر گرفته می‌شود و عامل‌های دیگر بر اساس شرایط واقعی (نظر کارشناسان)، به‌صورت ثابت جایگذاری می‌گردند. به سخن دیگر، برای شبیه‌سازی در این حالت، با توجّه به تابع عملکرد پیشنهادی پارامترها مقداردهی می‌شوند و پارامتری که هر ردیف متغیر لحاظ شده است، شبیه‌سازی می‌گردد و دیگر پارامترها ثابت در نظر گرفته می‌شوند. با انجام چنین فرآیندی، می‌توان اثر پارامتر متغیر بر تابع عملکرد و به‌طورکلّی بر مبحث HSE در کارگاه ساختمانی را بررسی کرد. برای اولویّت‌بندی پارامترها، شبیه‌سازی باید به تعداد عامل‌ها انجام پذیرد و در هر شبیه‌سازی، یک پارامتر به‌صورت متغیر در نظر گرفته شود و دیگر عامل‌ها ثابت باشند (ردیف‌های ۱ تا ۸ در جدول ٥). شبیه‌سازی در این حالت با استفاده از نتایج جدول (٥) انجام می‌پذیرد. اعداد شبیه‌سازی‌شده با استفاده از ویژگی‌های پارامترها است که در جدول (٤) محاسبه شده‌اند. همچنین، برای تعیین درصد شکست، رابطهٔ (۳) بکار می‌رود. در پایان، درصد شکست و یا خطرپذیری به‌دست‌آمده از تابع عملکرد پیشنهادی برای هر یک از عامل‌ها، در جدول (٦) درج شده‌اند.

جدول (٥): امتیازهای محاسبه‌شده برای هر عامل بر اساس روش SWOT

ردیف	H×h	P×p	S×s	C×c	E×e	W×w	SS×ss	F×f	جمع
۱	متغیر	۳/۳×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/٦×۰/۷	۳/٤×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/۲×۰/۷	۳/۲×۰/٦	۱۸/٤۹۱
۲	۳/۲×۰/٦	متغیر	۳/٥×۰/۸	۳/٦×۰/۷	۳/٤×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/۲×۰/۷	۳/۲×۰/٦	۱۸/۰۰٥
۳	۳/۲×۰/٦	۳/۳×۰/۷	متغیر	۳/٦×۰/۷	۳/٤×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/۲×۰/۷	۳/۲×۰/٦	۱۷/٥۲٤
٤	۳/۲×۰/٦	۳/۳×۰/۷	۳/٥×۰/۸	متغیر	۳/٤×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/۲×۰/۷	۳/۲×۰/٦	۱۷/٥۸٦
٥	۳/۲×۰/٦	۳/۳×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/٦×۰/۷	متغیر	۳/٥×۰/۸	۳/۲×۰/۷	۳/۲×۰/٦	۱۷/۷٦۲
٦	۳/۲×۰/٦	۳/۳×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/٦×۰/۷	۳/٤×۰/۷	متغیر	۳/۲×۰/۷	۳/۲×۰/٦	۱۷/۳۹۷
۷	۳/۲×۰/٦	۳/۳×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/٦×۰/۷	۳/٤×۰/۷	۳/٥×۰/۸	متغیر	۳/۲×۰/٦	۱۷/۹٤۲
۸	۳/۲×۰/٦	۳/۳×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/٦×۰/۷	۳/٤×۰/۷	۳/٥×۰/۸	۳/۲×۰/۷	متغیر	۱۸/۳٥۳

جدول (٦): نتایج شبیه‌سازی اثر هر عامل متغیر در تابع هدف

تعداد کل	تعداد شکست (کمتر از ۲۰)	درصد شکست (٪)	کمیّت متغیر
۱۰۰۰۰۰	۳۷٥٤۰	۳۷/٥٤	ایمنی برق
۱۰۰۰۰۰	۳٤٥٥٤	۳٤/٥٥٤	آتش‌نشانی
۱۰۰۰۰۰	۲٥٦٤۰	۲٥/٦٤	بهداشت
۱۰۰۰۰۰	۲٤۳۷۹	۲٤/۳۷۹	برنامه‌ریزی HSE
۱۰۰۰۰۰	۲۷۳٥۷	۲۷/۳٥۷	ایمنی محیط
۱۰۰۰۰۰	۳۳۳۹۰	۳۳/۹۳	سازهٔ نگهبان
۱۰۰۰۰۰	۳۸۱۰۰	۳۸/۱	جوشکاری
۱۰۰۰۰۰	۳٦۱٤٦	۳٦/۱٤٦	جرثقیل

جدول (٦) میزان اثرگذاری عامل های مختلف را به صورت جداگانه، بر موضوع HSE نشان می‌دهد. در اینجا، درصد شکست هر کمیّت نشان‌دهندهٔ مقدار خطرپذیری آن عامل در کارگاه ساختمانی است. بر این اساس، فرآیندهای وابسته به ایمنی جوشکاری، دارای بیشترین خطر می‌باشند. در مقابل، خطرهای ناشی از برنامه‌ریزی HSE کمترین خطر را ایجاد کرده است. با انجام چنین فرآیندی می توان بحرانی ترین و یا حادثه سازترین پارامتر را و کم حادثه سازترین پارامتر را شناسایی کرد و با در نظرگیری تمهیدات لازم از بروز حوادث مشابه جلوگیری کرد.

حالت دوم: بررسی عملکرد تابع پیشنهادی با شبیه‌سازی همهٔ عامل‌ها (شرایط واقعی)

شبیه‌سازی انجام‌شده در این حالت بر اساس جامعهٔ آماری گردآوری شده و بر مبنای داده‌های واقعی صنعت ساخت‌وساز انجام می‌پذیرد. در این حالت با در نظر گرفتن همهٔ عامل ها به‌عنوان متغیر، مدل پیشنهادی ارزیابی می شود. برای تعیین میزان ریسک و خطرپذیری از رابطهٔ (۳) استفاده می‌گردد. نتایج این فرایند در جدول (۷) درج شده‌اند.

ارزیابی تابع پیشنهادی با تولید ۱۰۰۰۰۰ داده شبیه سازی شده برای هر عامل انجام پذیرفت. ریسک حاصل از فرآیند برای شرایط واقعی مبحث HSE (تمامی عامل ها به‌عنوان متغیر) در ساختمان های بلندمرتبه شهر مشهد ۴۸/۳۰۲٪ به دست آمد. به سخن دیگر، ریسک به‌دست‌آمده از تابع پیشنهادی برای شرایط واقعی صنعت بلندمرتبه‌سازی شهر مشهد تقریباً ۵۰ درصد است. این یافته نشان می‌دهد در کارگاه‌های ساختمانی بلندمرتبه شهر مشهد اهمّیّت چندانی به مبحث HSE داده نمی‌شود.

بررسی و مقایسهٔ نتایج حاصل از شبیه‌سازی

برای مقایسه و رتبه‌بندی عوامل اثرگذار در موضوع HSE، فرآیند شبیه‌سازی با تولید ۱۰۰۰۰۰ داده تصادفی و مقداردهی به تابع عملکرد پیشنهادی انجام پذیرفت. در اینجا، شبیه‌سازی‌هایی که در آنها مقدار تابع عملکرد کمتر از ۲۰ شد، شکست منظور گردید. در پایان، با استفاده از رابطهٔ (۳)، ریسک هر یک از عامل‌های معرفی‌شده و موضوع HSE محاسبه شدند. با توجّه به جدول‌های (٦) و (۷)، نتایج حاصل از فرآیندهای شبیه‌سازی در شکل (۸) ارائه شده است.

در شکل (۸) نتایج به‌دست‌آمده از فرآیند شبیه‌سازی در دو حالت مختلف ارائه شده است. در این راستا، با متغیر در نظر گرفتن همهٔ عامل‌های معرفی‌شده (چک‌لیست‌ها)، ریسک حاصل از شبیه‌سازی، برابر با ٤۸٪ به دست می‌آید.

از سوی دیگر، با استفاده از شکل (۸)، می‌توان بر اساس وزن‌های اختصاص داده شده و فرآیند شبیه‌سازی در حالت اوّل، عامل‌های معرفی‌شده را رتبه‌بندی کرد (نتایج به‌دست‌آمده از حالت اوّل شبیه‌سازی). در اینجا، از شکل (۸) استفاده می‌شود و اثر هر عامل بر اجرای مبحث HSE در کارگاه‌های ساختمانی بلندمرتبه مشخص می‌گردد. بر این اساس، هرچه ریسک به‌دست‌آمده برای یک عامل بیشتر باشد، امتیاز اختصاص‌یافته به آن کمتر می‌شود. درنتیجه، وزن آن عامل در تابع عملکرد کمتر می‌گردد. ازاین‌رو، رتبه‌بندی عامل‌های معرفی‌شده در کارگاه‌های ساختمانی بلندمرتبه، به ترتیب میزان اهمّیّت آنها، در جدول (۸) درج شده‌اند.

بر اساس نتایج جدول (۸)، عامل برنامه‌ریزی بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست HSE برای کارگاه کم حادثه‌ترین و پارامتر ایمنی کار هنگام جوشکاری خطرسازترین عامل در پروژه‌های ساختمانی بررسی شده می‌باشند. به سخن دیگر، به موضوع برنامه‌ریزی بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست HSE برای کارگاه، اهمّیّت زیادی داده می‌شود و کمترین خطر را در کارگاه ساختمانی ایجاد می‌کند. همچنین، عامل‌های بهداشت کارگاه، ایمن‌سازی محیط کارگاه، ایمنی سازهٔ نگهبان، ایمنی آتش‌نشانی، ایمنی کار با جرثقیل، ایمنی برق کارگاه و ایمنی هنگام

جوشکاری به ترتیب، در رتبه‌های دوم تا هشتم به لحاظ اهمیّت دادن به آنها در کارگاه ساختمانی قرار دارند.

جدول (۷): نتیجه شبیه‌سازی برای حالت دوم (شرایط واقعی)

تعداد مقادیر قابل قبول (بیشتر از ۲۰)	تعداد شکست (کمتر از ۲۰)	تعداد کل
٥١٦٩٨	٤٨٣٠٢	١٠٠٠٠٠



شکل (۸): نتایج حاصل شبیه‌سازی

جدول (۸): رتبه‌بندی اهمیّت عامل‌های شناسایی‌شده

رتبه اهمیّت به پارامتر در کارگاه ساختمانی از زیاد به کم	میزان خطرپذیری به‌دست‌آمده (٪)	عامل اثرگذار
١	٢٤/٤	برنامه‌ریزی بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست HSE برای کارگاه
٢	٢٥/٦	بهداشت کارگاه
٣	٢٧/٤	ایمن‌سازی محیط کارگاه
٤	٣٣/٩	ایمنی سازهٔ نگهبان
٥	٣٤/٦	ایمنی آتش‌نشانی
٦	٣٦/١	ایمنی کار با جرثقیل
٧	٣٥/٧	ایمنی برق کارگاه
٨	٣٨/١	ایمنی هنگام جوشکاری

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مدل برای ارزیابی ریسک موضوع HSE در کارگاه‌های ساختمانی بلندمرتبه ارائه گردید. با استفاده از این الگو، شرایط ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست در پروژه‌های بلندمرتبه‌سازی شهر مشهد ارزیابی شد. برای انجام این کار، نخست، عوامل اثرگذار بر موضوع HSE در کارگاه‌های ساختمانی شناسایی شدند. در ادامه، برای هر عامل چک‌لیست ارزیابی طراحی گردید. برای وزن دهی عامل‌های شناسایی‌شده، چک‌لیست‌ها بین افراد متخصص در کارگاه‌های ساختمانی بلندمرتبه توزیع شدند. وزن‌دهی این عامل‌ها بر اساس نظرهای کارشناسان، با استفاده از ارزیابی ماتریس SWOT انجام پذیرفت. همچنین، برای افزایش جامعهٔ آماری از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو استفاده شد. ارزیابی تابع پیشنهادی با تولید ۱۰۰۰۰۰ داده تصادفی برای هر عامل انجام شده است.

در این پژوهش تعداد ۹ عامل، جداگانه شبیه‌سازی شدند. برای ارزیابی مقایسه‌ای و رتبه‌بندی عامل‌های شناسایی‌شده، در هر بار فرآیند شبیه‌سازی، تنها یک عامل متغیر و دیگر عامل‌ها ثابت می‌باشند. همچنین برای ارزیابی شرایط واقعی صنعت بلندمرتبه‌سازی، همهٔ عامل‌ها متغیر در نظر گرفته شدند. بر این اساس، نتایج حاصل از فرایند شبیه‌سازی با مدل پیشنهادی، به این قرار است:

۱- خطر موضوع HSE در کارگاه‌های ساختمانی بلندمرتبه‌سازی تقریباً ٪۵۰ است. باید دانست، این کمیّت حاصل از شبیه‌سازی تابع پیشنهادی بر اساس نظرهای کارشناسان و متغیر در نظر گرفتن همهٔ عامل‌ها به دست آمد؛

۲- بر پایه شیوه پیشنهادی، می‌توان پرخطرترین و ایمن‌ترین عامل‌ها را در کارگاه‌های ساختمانی بلندمرتبه مشخص کرد. همچنین، عامل‌های شناسایی‌شده در کارگاه‌های ساختمانی رتبه‌بندی شدند. در این پژوهش، برنامه‌ریزی بهداشت و ایمنی در هنگام جوشکاری، به‌ترتیب، ایمن‌ترین و پرخطرترین عامل‌های شناسایی‌شده در موضوع HSE به دست آمدند؛

۳. با استفاده از نتایج مدل پیشنهادی می‌توان، نقاط ضعف کارگاه ساختمانی را شناسایی کرد و برای بهبود آنها برنامه‌ریزی نمود.

باید دانست، می‌توان مدل پیشنهادی را برای کارگاه‌های مختلف ارزیابی کرد. در این راه، نخستین کار، شناسایی عامل‌های اثرگذار بر موضوع HSE است. سپس، می‌توان فرایندی مشابه این پژوهش را انجام داد.

مراجع

1. Ardeshir, A., Maknoon, R., Rekab Islami Zadeh, M., Jahantab, Z., "HSE risks assessment in urban high-rise construction using Fuzzy Approach", *Journal of Health and Safety at Work*, Vol. 5 (2), pp. 1-12, (2015). [Persian]

2. Fazlollah, A., Mohammadfam, I., HadgiParvaneh, M. J., Omidvari, M., "Introducing a method for Health, Safety and Environmental (HSE) risk assessment, using multi-criteria decision making (MCDM) techniques: a case study in power plant construction", *Journal of Health and Safety at Work*, Vol. 4 (1), pp. 55-64, (2016). [Persian]

3. Wybo, J., Wassenhove, W. V., "Preparing graduate students to be HSE professionals", Safety Science, Vol. 81, pp. 1–10, (2016).

4. Mohammadfam, I., Shekari, A., Khosroujerdi, A., "Presentation of an HSE-MS performance measuring

model based on EFQM", *Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 10(4), pp.1-10, (2009). [Persian]

5. Zhou, Z., Goh, Y. M., Li. Q., "Overview and analysis of safety management studies in the construction industry", *Safety Science*, Vol. 72, pp. 337–350, (2015).
6. Jafari, M. J., Mapar, M., Mansouri, N., "A New Method for Contractors HSE Ranking at the Pre-Contract Stage Based on Contract Level", *Iran occupational health journal*, Vol. 10 (2), pp. 65-78, (2013). [Persian]
7. Perlman, A., Sacks, R., Barak, R., "Hazard recognition and risk perception in construction", *Safety Science*, Vol. 64, pp. 22–31, (2014).
8. Amiri, M., Ardeshir, A., Soltanaghaei, E., "Analysis of High Risk Occupational Accidents in Construction Industry Using Data-mining Methods", *Iran occupational health journal*, Vol. 11 (4), pp. 31-43, (2014). [Persian]
9. Hassanzadeh-Rangi, N., Khosravi, Y., Farshad, A. A., Abedinloo, R., Jalilian, H., "Inter and intra-rater reliability of a new assessment tool for Health، Safety, and Environment (HSE) in urban districts: A case study in Tehran city", *Journal of Health and Safety at Work*, Vol. 6(3), pp. 73-90, (2016). [Persian]
10. Amini, fard, F., meshkani, m., "Investigation of occupational health and safety application using the internal and external factor assessment matrix: SWOT", *Journal of Health and Safety at Work*, Vol. 2 (2), pp. 53-60, (2012). [Persian]
11. Oswald, D., Sherratt, F., Smith, S., "Problems with safety observation reporting: A construction industry case study", *Safety Science*, Vol. 107, pp. 35–45, (2018).
12. Khosravi, Y., Asilian Mahabadi, H., Jafari, M., Hassanzadeh-Rangi, N., Hajizadeh, E., "Why construction workers involve in unsafe behavior: Part B: Scale validity and reliability", *Iran occupational health journal*, Vol.11 (6), pp. 10-20, (2014). [Persian]
13. Nowak AS, Collins KR. Reliability of Structures, McGraw Hill, New York, (2000).